

所外発表論文等概要

〈推進性能部〉

Wigley 相似模型の水槽試験結果の評価

1. 相似性の検討

An Evaluation of Resistance Components on Wigley Geosim Models

1. Consideration on Scale Effect of Resistance

田中 拓, 足達 宏之, 日夏 宗彦
梶谷 尚, 並松 正明, 荻原 誠功

昭和59年12月

関西造船協会誌195号

第16回 ITTC (International Towing Tank Committee) は, 世界の各水槽が協力して均一な計測条件で計った模型船の抵抗および船体周りの流れのデータによって, 共同利用可能なデータ・ベースを作ることを1970年に提案した。推進性能部でもこの動きに賛成して, 1981年に所定の計測と解析を行った (計画番号の01-5504)。上記 ITTC の計画は, その後第17回 ITTC に引継がれ, 1983年にデータの収集を打ち切り, 1984年9月の ITTC 総会でその成果が発表される予定になっている。この間わが国では, Wigley 船型の計測によ

って本計画に参加した, 船研, 東大, 石川島播磨重工業(株)が共同して研究グループを組織して計測成果の検討を行った。

国内の共同研究 (Wigley 研究会) の目的は, 3水槽が使用した Wigley 模型が2.5m (東大), 4m (船研) および6m (石播) によって構成される geosim 模型 (相似模型群) であるから, 抵抗の相似性について実験と計算の両面から研究することである。この研究の成果は, 4篇の報告にわけて発表することとし, 本報告はその最初のもので, 全体の概要, 抵抗の相似性についての総論的な内容となっている。

抵抗の相似性については, 物理的には十分な説明がなく, 相似性を説明する一般的方法も確立されていない。Wigley 船型は, 自由表面衝撃波, 縦渦, 剥離などの抵抗に係る複雑な現象を含んでいないので, 船体の排除効果が抵抗成分に与える影響を知ることができる。さらにこの船型が波くずれをほとんど起していないことを確認したので, 波形造波抵抗を造波抵抗に等しいと考えて, 抵抗成分の相互関係を調べた。

この結果, 抵抗成分間の関数をこれまでの geosim 模型より明確に説明することが可能となり, 摩擦抵抗の速度依存性をも明かにした。

Wigley 相似模型の水槽試験結果の評価
2. 低速における粘性の影響

**An Evaluation of Resistance Components
on Wigley
Geosim Models**

2. Viscous Effect at Low Froude Numbers

田中 拓, 日夏 宗彦, 梶谷 尚
並松 正明, 荻原 誠功

昭和59年12月

関西造船協会誌

本報告は、Wigley 相似模型船 (Wigley geosim) の ITTC 共同試験結果に関する 4 篇の論文のうちの 2 番目のものに相当している。前報 (1, 相似性の検討) で、共同試験の概要を示し、抵抗成分に関する流力的な相似性について述べた。本報告では、低速度域での抵抗に及ぼす粘性影響をとりあげ、境界層理論を中心に実験および解析結果の評価を行う。

3次元境界層理論の計算は、低速を対象としているので外部流に2重模型近似を使用し、境界層の解析モデルは積分型を用いる。計算の詳細は、先に著者の一人が発表 (西部68号) した方法によっている。

Wigley 模型の境界層の排除厚さ、運動量厚さ、2次流れ角などの粘性流の局所量の計算結果を別に計測された資料と比較すると極めてよく一致しており、抵抗成分の評価に本方法を使用することが適切であることがわかった。

上記の局所量を用いて、積分量である抵抗値を求めると、低速における摩擦抵抗の form factor は、前記共同試験中のデータもよく一致した結果となった。この結果、模型船の大きさによって form factor が異なることがわかり、船の抵抗の相似則に新しい見方を与えることになった。

しかしながら、本研究の結果が前報の計測とよく一致した理由の一つは、Wigley 船型の性質が (前報で述べたように) 極めて単純であるからである。一般の船型について直接応用することは難しいが、抵抗の相似則の考え方は従来経験則が中心であるから、新しい試験の方法と境界層理論を用いた本研究の方法によって合理的な相似則研究の道につながる可能性は大きい。

〈船体構造部〉

**Innovative Application of Combined Steel
and Polyurethane Structures**

鋼および硬質ポリウレタンフォームからなる
複合構造物の衝突防護施設への応用

有田 喜久雄, 中山 義昭, 小林 辰夫

昭和59年9月

12th Congress, International Association for
Bridge and Structural Engineering, 1984

本論文は、鋼および硬質ポリウレタンフォームによりつくられた複合材構造物の衝突防護施設への応用を述べたものである。その内容は3項に分けられる。

第1決、軽量で衝撃吸収性の良い材料の開発である。泡径をコントロールして新しく開発した硬質ポリウレタンフォームについて、その静的および動的な圧縮特性に関する実験を行い、有効変位量が大きく、吸収エネルギー特性が優れていることを示した。この硬質ポリウレタンフォームとその他の緩衝材について、比重、加工性、圧縮強さ、反力特性などを比較し、一覧表にまとめた。

第2は、硬質ポリウレタンフォームと鋼材とを組み合わせた緩衝工 (衝突船の運動エネルギーを有効に吸収するための構造物) の吸収エネルギー特性の検討であす。そのために、格子構造の鋼板製緩衝工を含めて数種類の緩衝工模型について破壊実験を行い、これらの反力物性の比較から、鋼板製外枠の中に硬質ポリウレタンフォームを一様に充填した複合材型緩衝工が一般的に良好であることを示した。この複合材型緩衝工は軽量で耐水性にも優れているので、本四架橋に応用されており、その橋脚周囲に設置された浮体式緩衝工の実例を示した。

最後に、鋼材および硬質ポリウレタンフォームを使用した複合材構造物の推奨例を上げた。それらは、LNG 船など危険物運搬船の船側構造として、格子構造に硬質ポリウレタンフォームを詰めた格子複合材型構造を採用すること、軽量を生かして長大橋の道路の中央分離帯の緩衝施設へ利用すること、そして危険物格納容器への応用などである。

〈機関開発部〉

ジルコニア製セラミックスエンジン

Ceramic Diesel Engines of Zirconia

宮城 靖夫

昭和59年9月

窯業協会関東支部

第16回窯業教室「ジルコニアの新しい展開」テキスト

ニューセラミックスがエンジン部品として脚光を浴び、各種セラミックスの開発・応用研究が活発に国内外で行われているが、ここ数年前からジルコニアにイットリア等を添加した高強度、高靱性といわれる部分安定化ジルコニア(PSZ)が出現し、これが断熱ディーゼルエンジンの部材として低熱伝導率、金属とほぼ同等のヤング率などの性質から有望視されている。

ここではPSZが何故ディーゼル機関部品として有望視されているのかを、省エネルギーの面、耐久性・信頼性の面から、その必要性を説き、国内外の代表的なセラミックディーゼル機関の開発研究の動向を述べ、PSZの積極的利用とジルコニアコーティングが主流となりつつあることを示した。

また、PSZは相転移を利用したセラミックスであるため、その性質は製造法等に大きく左右され、メーカーあるいは同一メーカーでもロットによって特性が変ることを示した。

高温強度は常温では70~120kgf/mm²と試験片によって大きな差異があるものの、温度の上昇とともに低下し、750°C以上ではHIP品も含めて、ほぼ同値となる。高温暴露試験では、製法によっては永久寸法変化が約0.9%生じ、これはエンジン部材として重大な欠陥となる。高温疲労試験では試験片によっては250°C附近で急速に低下する現象がみられた。これらはX線回析、SEM写真の観察から、粒径の大きさに関係し、結晶に変化することにより起きると考えられる。また、高温疲労・クリープはセラミックスといえども重要な設計因子で、材質によっては瞬時強度とは温度によって著しく異なることがある。

耐食性については船用の場合、特に重要な因子であるが、今後の研究にまつものである。

金属との組み合わせは温度分布がある場合、設計面で十分検討しなければならない問題である。

熱機関に利用する場合の部分安定化ジルコニアの特性

Properties of PSZ Ceramics for Using Engines

宮城 靖夫, 藤本 康, 比気 正

昭和59年10月

日本舶用機関学会第35回学術講演会

部分安定化ジルコニア(PSZ)は、結晶の相転移を利用して、セラミックスの欠点のひとつである脆さを改善した新しい構造用材料である。また、このPSZは高強度、高靱性、低熱伝導率、金属と類似した熱膨張率とヤング率をもち、最近注目されているセラミックスを利用した断熱ディーゼル機関への適用が、金属材料と組み合わせて使用する上で大変期待されている。

しかしながら、結晶の相転移を利用している性質上、熱機関のように温度変動の大きい部材として使用する場合、他のセラミックス以上にPSZの高温特性を十分把握しておかなければならない。

本報告では数種類のY₂O₃添加PSZについて、高温強度、高温暴露後の形状変化及び強度変化、高温疲労強度、高温クリープの試験を行い、考察したので報告する。

高温強度は試料の種類によって、常温では大きな差があるものの、雰囲気温度の上昇とともに各々急激に低下し、750°C以上では試料による差はほとんどなくなり、HIP品も常圧焼結品と変りがなくなる。ただバラツキの大きさは試料によって特徴があり、大きな成型品から切り出した試験片の方がバラツキが大きい。

高温暴露試験では試料によっては500°C、2時間の暴露を繰り返すことによって、約0.9%の寸法変化が生じるものがあり、この試料は寸法変化に対応して強度も大巾に低下する。しかし、試料によっては寸法変化も、強度変化も起きない。この差はSEM観察、X線回析による結晶構造の分析によると、結晶粒径が小さく均一なものほど、相変化(正方晶→単斜晶)が起りにくいためと考えられる。

高温疲労試験では暴露試験で寸法変化のあった試料は、250°Cで急激に疲労強度が低下する現象がみられ、結晶粒径が比較的低温の温度領域でも劣化に影響し、X線回析でも結晶変化が大きいことが認められた。

船用機関への新素材—セラミックスの利用

Utilization of New Material—Ceramics for Marine Engines

宮城 靖夫

昭和59年12月

日本能率協会，新素材—セラミックスの開発戦略
シンポジウム テキスト

我が国の造船業は，基幹産業として著しい発展をなし，世界的にも自他共に認める造船王国となっている。しかしながら，これに搭載される船用機関は外国のライセンスによるものが大型船舶では過半数である。また最近では，新興造船国の発展も著しく，我が国のシェアを維持するためには，抜本的対策が緊急の課題となっている。一方，船用機関の燃料として使用される重油は，第一次，第二次石油ショックを契機に価格の高騰と質の低下が著しく，これらへの対処も積極的に行なわれている。これらを背景に昭和57年8月には運技審から諮問第13号に対する答申が出されている。

このなかで船用機関に関連するものは、『船舶の知能化・高信頼度化技術』の「高信頼度プラント」および『21世紀への対応のための課題』にある「超粗悪油，石炭，水素等を燃料とする代替燃料機関等の基礎的な研究」が課題として上げられ，これらはセラミックスの利用を始めとし，エレクトロニクス，宇宙技術等の積極的活用を期待されている。このような船用機関を取り巻く状況でセラミックスを船用機関に利用することは，二つの意味で重要である。第一はセラミックスのもつ高耐熱性を利用して，機関の高温化をはかり，熱効率を向上させ，省エネルギーを達成させ，運航コストの低減を図る。第二はセラミックスの耐摩耗性，耐食性等による高耐久性から部品の高信頼性を達成させ，メンテナンスを極小化し，省保守を実現して，高品質の機関とすることである。

船用機関の熱効率は，省エネルギー化への努力により大型2ストローク低速ディーゼル機関では50%を超えるところまできている。更に断熱性のセラミックスを利用できれば，燃費で3 g/PS・h程度の低下が望め，全体の熱効率60%以上も夢ではなくなる。また，耐熱・耐食・耐摩耗部品としてセラミックスを使用することが出来ればメンテナンスフリー6ヶ月以上を実現することも可能となるであろう。

流動混合気の火花点火における要因解析

Factor Analysis on Spark Ignition of Flowing Gases

羽鳥 和夫，河野 通方，飯沼一男

昭和60年1月

日本機械学会論文集，51巻461号

現在，火花点火機関の燃費低減と排気浄化の一方策として希薄混合気の燃焼が試みられている。このため，乱れを伴った流動希薄混合気を確実に点火することが必要となり，点火装置系に対して従来よりも一段と高い点火能力が要求される。現在用いられている点火装置には主として点火コイルの一次電流を遮断する方式のものが使用されている。この方式によって発生する火花は容量成分と誘導成分とに分けられ，これらで構成される火花という意味で合成火花と呼ばれる。このような点火コイルを用いた実験では火花エネルギーを増すと同時に放電時間も長くなることや，点火コイルの違いによる火花の電力と容量成分との変化などの影響が入ってくるために，個々の効果のみを知ることは困難である。

このため本研究では後続成分の放電時間および電力を独立して変えられる装置を用いて層流のプロパニー空気希薄混合気に点火し，点火過程に影響を及ぼす要因の効果を調べた。その結果以下のことが明らかになった。

- 1, 流動混合気中で吹流される火花径路の時間的推移，および火花径路と火炎核との相対的位置が明らかにされた。
- 2, 後続成分の放電形式としてアーク放電とグロー放電とがあり，前者の方が点火能力が高い。
- 3, グロー放電では混合気速度，放電時間，最小点火エネルギーの関係はSwettの理論でほぼ説明できるが，特に電極への熱損失が重要であることが示唆された。
- 4, 火花電極直径が大きい場合には，この後流の乱れによって火炎核からの熱損失が増すために最小点火エネルギーが増加する。

〈機関性能部〉

CT法を用いたホログラフィ干渉法による
火炎温度測定

**Measurement of Flame Temperature by
Holographic Interferometry using Computed
Tomography Technique**

佐藤 誠四郎, 熊倉 孝尚

昭和59年11月

第22回燃焼シンポジウム

光干渉法を用いた温度測定では光路方向に沿った積分量が得られるので、測定対象が二次元場とか回転対称の場合に限定される。しかし干渉法のこのような短所もCT法(Computed Tomography 断層撮影法)を用いることにより克服され、任意の分布をもつ場合でも局所的な値のみならず、広い範囲の三次元空間分布の測定が可能となり、最近燃焼の分野においても光散乱法、吸収法、熱線などを用いたCT法の応用がいくつかなされている。CT法を適用するには180°にわたる多くの方向からの透過データが必要なこと、火炎に適用する際には非定常性のため、これらのデータは同じ瞬間に得る必要があり、動きの速い物体を測定する場合、いかにして多くの方向の干渉像を同時に入手するかが最大の問題と思われる。

著者らはこれまで多方向からの干渉像が得られる光学系について検討を行い、レーザ光量の損失、所要光学部品数、干渉像の視野などについての問題点を明らかにしている。

本報では、火炎温度の三次元空間分布を測定するため24方向からの干渉像が一度に得られ、より広い視野をもつ干渉光学を提案した。干渉像の視野を広くするには参照光と物体光を別々にし、コリメータレンズなどの所要部品を少なくするためビームはレンズからの発散光をそのまま用いている。対象火炎はアルコール火炎とし、火炎温度をCT法により求めた。また比較のため干渉法と熱電法の同時測定を行った。

実験結果として、火炎温度プロフィールを三次元グラフィックに表示し、測定値の空間分解能は0.5~1.0 mmは十分得られることを明らかにした。干渉法で得られる温度は熱電対法より高いが、この原因などを検討した。

CTで用いる計算法の精度を調べるため計算機シミュレーションを行い、名計算方法により再構成される結果の傾向と精度などを明らかにした。

船用流動層燃焼技術に関する研究

**Investigation on Fluidized Bed Combustion
for Marine Application**

波江 貞弘, 長内 敏雄, 山之内 博
横村 武宣

昭和59年12月

日本船用機関学会誌, 19巻12号

流動層燃焼技術は、極低質油あるいは石炭などの燃料多様化、燃焼炉本体の小型化及び蒸気条件の改善による蒸気動力プラント熱効率の向上などに対して利点を有すると考えられることから、陸上用のみならず船舶用蒸気動力への適用が検討されている。その際、船舶用として特に考慮すべき点として、炉の傾斜及び動揺時における燃焼の安定性と効率への影響、未燃分を含む流動粒子の散逸、最小部分負荷限界、負荷変動への追従性などがある。これらの事項に関しては2, 3の研究例があるが、炉の姿勢条件、特に動揺が燃焼に及ぼす影響については検討されていない。そこで、小型流動層燃焼実験装置を動揺台上に設置し、油燃焼と石炭燃焼の両者について、上記燃焼特性に及ぼす姿勢条件の影響を中心に実験的に検討した。

得られた結果を要約すると次のとおりである。

- (1) 燃焼炉の一定角度傾斜は流動層が厚くなる側の壁面中央付近温度を低下させ、層内温度分布幅を増加させる。また、層上の燃焼ガス温度も上昇させる。このため、ボイラ効率は低下する。これらの傾向は灯油及び石炭燃焼の両者で本質的な差は見られない。原因は層内に形成される局所的な固定層と考えられる。
- (2) 一方、動揺させる場合は流動媒体の熱容量に起因する時間的平均化効果によって、灯油及び石炭燃焼ともに垂直燃焼時とほぼ同様な燃焼特性が得られ、ボイラ効率は変化しない。したがって、設計上は一定角度の傾斜が最も厳しい条件になると考えられ、また実用時には船体運動のうち比較的長時間(10分以上)持続される傾斜成分だけが効率などに影響すると考えられる。
- (3) 流動媒体の散逸量は非燃焼実験によると層通過空気流速とともに増加する。燃焼実験では、計算から求めた燃焼ガス平均流速がほぼ同程度であっても、炉床燃焼負荷の増大につれ散逸量が増加する。また、ピッチの小さい管配列では散逸が抑制される。

オイルフェンスの漏油防止

Prevention of Escaping Oil from Mechanical Barriers

上田 浩一

昭和60年1月

海上防災事業者協会 海上防災34号

現用のオイルフェンスは海面の拡散阻止に対して必ずしも万全でなく、特にある程度以上の潮流、波、風が伴った場合の性能を向上させることが要望されている。この問題に対処するために回流水槽で基礎的な実験を行ない、現用オイルフェンスの潮流による漏油現象の観察、滞油限界、風、波の影響等について調べた結果について述べ、さらにこれらの結果から考えたオイルフェンスの漏油防止装置について述べる。

潮流によるオイルフェンス試験は油層フルード数と無次元油層長さで整理すると模型の大小にかかわらずよく評価することができる。平板状オイルフェンスの二次元回流水槽実験での限界油層フルード数（滞油の限界を示す） F_c は0.8前後である。展張模型オイルフェンスの F_c はそれより大きく、開口比が大きい程 F_c も大きい。オイルフェンスが波に追従する場合には波の影響は少なく、風の影響は風速の2.5%~5.5%程度の水流速と同程度の影響であり、風速が小さい時に2.5%程度である。風と波の相乗作用はオイルフェンス上部からの漏油の原因となる。このような漏油現象を観察すると、油層の先頭波や油水界面波と縦渦、反転流によって生じる油滴が下向き後方へ流されることが判る。新しいオイルフェンスの漏油防止装置はオイルフェンスの前部に垂直に、前底部に水平に格子状の網を使用したものであり、フェンス前面の流れをゆるやかにし、油水界面波や反転流の発生を抑制する効果がある。従って格子状の網をオイルフェンスの前面及び前底部に使用したオイルフェンスの漏油防止装置は非常に効果があり、流速にして50%程度の性能向上が計れることが確認された。この場合特に前面の網の効果が大きい。

一様水平流水中における
二次元気泡浮力噴流の挙動の解析

Analysis on the Behavior of Two-Dimensional Bouyant Jet Induced by Air Bubbles in the Uniform and Horizontal Water Flow

波江 貞弘, 原 正一, 伊飼 通明

昭和60年3月

日本機械学会論文集, 51巻463号B

気泡浮力噴流とは、水中に放出された気泡群が浮力によって水面まで浮上する際、気水間に作用する抗力によって周辺の水を巻き込んで形成する二相の上昇噴流のことであり、水面に到達した流れは向きを変えて水平方向に二分される表面流となる。この上昇噴流ならびに表面流の挙動については、従来より空気消波あるいは流出油等の水面浮遊物の拡散防止などの諸技術に関連して研究がなされてきた。しかしながら、これらの研究はいずれも静水中の鉛直上昇噴流に関するものであり、水平流が存在する場合の噴流の挙動については解析手法が確立されているとはいえない。

本報告は、別報において行なった二次元鉛直上昇噴流の流速分布及び噴流幅などに関する数値解析ならびに実験をもとに、水平流が存在する場合に解析を拡張し、噴流の軌跡について検討したものである。また、大型水槽を用いて一様水平流中に気泡噴流を発生させる実験を行い、水中及び水面上における噴流中心の位置を計測し、上記解析結果と比較した。

得られた結果を要約すると次のとおりである。

- (1) 二次元鉛直上昇噴流に関する基礎式を再検討するとともに、一様水平流が存在する場合について、質量保存式、上昇方向及びそれに垂直方向の運動量式ならびに浮力（空気量保存）式の各方程式を導入した。
- (2) 上記運動量式中の水平流による影響項を実験的に推定した。これにより噴流内の流速、噴流幅、気泡体積含有率及び噴流中心軌跡の解析が可能となった。
- (3) 噴流中心軌跡結果は、水平流速の増加につれその傾きが増し、水平流速が小さい範囲で実測値の傾向をほぼ説明している。
- (4) 水平流速が大きい場合の実測値と解析の相違は、(2)の影響項の実験的推定精度が十分でないこと、及び気泡相互の合体や分布形状の偏りが生じるため本報告で用いた仮定が成立しなくなることが主な原因と考えられる。

ディーゼル機関による低質燃料の燃料実験

**On the Burning Test of Low Grade Fuels
by the Small Diesel Engine**

塩出 敬二郎, 辻 歌男

昭和60年3月

日本舶用機関学会第18回創立10周年記念事業講演会

近年舶用燃料は、高比重化、高粘度化、低質化が進んでいて、その燃焼性はだんだん低下している。そのために良好な燃焼を得ることが困難になってきている。燃料性状の低質化による燃焼不良のためと思われる舶用機関の故障例が多くなってきている。例えば、ピストンリングやシリンダライナの異常摩耗、排気弁の吹き抜け、デポジット付着による過給機の性能低下、サージングの発生など。これらの故障の原因は排気中に含まれる粒状物質(すす)と深い関係がある。しかし、低質燃料油でディーゼル機関を運転した場合のすすの排出特性、すすと機関故障との関連性についてほとんど資料が見当たらない。そこで、低質燃料の性状がすすの排出量、燃焼室周りへのデポジット付着量、ピストンリングの摩耗量、潤滑油の劣化などにどのような影響を与えるかを調べた。この研究では小型ディーゼル機関と性状の異なる8種類の燃料を使用した。この8種類のうちの7種類の燃料と他に2種類のA/Cブレンド油について各々30時間の連続運転実験を行った。この実験結果を色々な角度から検討した結果、次のようなことが明らかになった。A/Cブレンド油では、A重油の調合割合が多くなれば燃焼が改善されて、スモーク濃度、デポジット付着量、ピストンリング摩耗量などは減少する。低質重油では、すす濃度は燃料中の残留炭素分や硫黄分が多くなると高くなる。スモーク濃度は、残留炭素の増加、ディーゼル指数の低下、燃料粘度の上昇などにより高くなる。

ピストンリング摩耗量は、残留炭素分、灰分、水分が多くなると増加する。潤滑油中のn-ペンタン不溶解分は、残留炭素分、水分が多くなると増加する。潤滑油粘度は、水分、残留炭素分、灰分が増加すると高くなる。潤滑油の全塩基価の減少は、硫黄分の増加で促進される。

〈機 装 部〉

セミサブリグの風洞試験における閉塞影響について

**On the Effect of Blockage of Wind Tunnel Test
of Semi-Sub-Rig Model**

宮田 修, 西本 和生, 前田 久明

江口 純弘

昭和59年10月

東京大学生産技術研究所 生産研究36巻10号

比較的風路断面積の狭い風洞試験装置を用いた風洞試験では、風路内に置かれた模型の大きさによっては閉塞影響が心配される。本報告では、東京大学生産技術研究所の風路付水槽を使用し、半潜水型石油掘削用海洋構造物の大小2つの模型(1/100, 1/150)について同一方法で試験を行い閉塞影響の有無を検討した。

一般に固定壁を有す風路内では、次の2つの影響を考える必要がある。①閉塞効果、これは模型があるために模型から十分に離れた位置での主流速度の流速が増加することが考えられる。②伴流閉塞、これは風路内に模型が置かれたために伴流が生じ、伴流の平均流速は模型無しの流れより遅くなる。したがって、①と同様にして伴流の外側の流速が速くなると考えられる。またこの伴流にもとづく模型表面の静圧の変化による流体の剝離も重要な問題であろう。

前述のような考えに基づき、模型に加わる六分力、ピトー管と微差圧計による風速分布、表面タフト法による模型表面の流線観測を行った。

その結果、次のような結論を得た。

①伴流閉塞の影響は、本実験の場合では被測定物の風路断面積に占める割合が比較的大きくなる(18%)と現われる。

②閉塞影響の修正は本報告に示した方法で可能であり、大小模型の風荷重の計測値を補正して求めた値は良い一致をみた。

③タフトの観測により、側壁からの影響は大型模型でも受けていないことがわかった。

本報告は、昭和58年10月～昭和59年3月の間、東京大学生産技術研究所第二部前田研究室に国内留学中に行った研究成果である。

Flow Oscillations Induced by Subcooled Water Injection into Steam Flow

蒸気流中への冷水注入に伴う流動振動

綾 威雄, 成合 英樹, 小沢 昇

昭和59年10月

American Nuclear Society(ANS), Int. Nuclear Power Plant Thermal-Hydraulics and Operations Topical Mtg.

加圧水型原子炉には設計基準である1次系冷却材喪失事故(Loss of Coolant Accident, LOCA)に備えるため緊急炉心冷却系(Emergency Core Cooling System)が設けられている。LOCA時には、ECC水がコールド・レグ部より注入されるが、サブクール水(飽和温度より低温の水)が管内蒸気流中へ注入されると一定の条件下で蒸気凝縮速度の変動に起因した流動振動が生じる。この振動現象を支配しているパラメータとメカニズムを明らかにするため、ECC水注入を模擬した小規模実験を行うとともに単純化したモデルによる解析を行った。

実験は管の傾斜角、蒸気ヘッダー容積と管径をパラメータとして行い、流動振動現象が蒸気流量、流水流量と注水温度にどのように依存するかを調べた。実験データの整理から、流動振動の生じる領域は低注水流量時には傾斜角が大きいかほど振動発生領域が狭まること、また振動周期は蒸気ヘッダー容積が大きいかほど長くなることなどが判明した。流動振動は、蒸気凝縮のON-OFFによる振動と、蒸気-水界面が注水部より下流へ延びた状態で振動するいわゆるプラグ振動に分けることができる。これらの振動様式に対して周波数解析を行った。

ON-OFF振動では、界面が注水部を挟んで上下流を往復振動するが、蒸気凝縮を界面が下流に存在する間は注水ノズル近傍での蒸気凝縮速度に等しく、上流に存在する間は零で近似した。解析値は筆者らのデータとほぼ一致したが、米国のCREAREで行われた実験値との一致は良くなかった。この不一致について考察を行った。一方、プラグ振動時の界面変動振巾は比較的小さいことと凝縮速度の変化も小さいことを利用し、界面の平衡位置からの微小変動周期を線形振動論より求めた。解析値は筆者らおよびCREAREを含む他のデータとも良く一致した。

蒸気のプール水中凝縮時に生ずる
圧力振動の発生限界

Occurrence Threshold of Pressure Oscillations Induced by Steam Condensation into Pool Water

綾 威雄, 成合 英樹

昭和59年11月

日本機械学会論文集No847-2
北陸信越支部北陸地方講演会

蒸気をプール水中で凝縮させる際、蒸気流量とプール水温に依存してベント管系に圧力および流体の振動が発生する。この現象は、沸騰水型原子炉の圧力抑制型格納容器が冷却材喪失事故時および余剰蒸気排出時に格納容器が受ける動的荷重評価の問題として関心が持たれており、これまで米国をはじめわが国や西独において、安全評価のためのデータを得る目的の実規模試験が行われてきた。一方、振動現象のメカニズム解明のための小規模実験が多く行われてきたが、いまだ統一的な説明がなされていない。本研究は、これまでに明らかにされていない事柄の内、プール水温を上昇させていったときに、まず高周波成分の振動発生限界が現われ、続いて飽和温度近くで低周波成分の振動発生限界が現れる理由を明らかにすることを目的としている。

ベント管出口で凝縮しつつ膨張と収縮をくり返す蒸気泡の運動に対する基礎式を線形化し、界面の平衡位置からの微小変動が発散するか否かの限界を線形安定論より求め、振動発生限界の実験値と比較し以下の結果を得た。

- (1) 蒸気泡をコントロール容積とする高周波圧力振動と、ヘッダーを含む大きなコントロール容積に対する低周波圧力振動は、ともにプール水のサブクール度がある値以上のとき生じ、高周波成分の方が大きなサブクール度を必要とすることを解析的に示した。
- (2) 振動発生限界におけるプール水サブクール度の値は、低周波振動成分については解析と実験値とはほぼ一致している。また、高周波振動成分の限界値もオーダー的には両者は一致しているが、蒸気流量に対する影響には違いが見られる。しかし、この違いは、蒸気流量の増加とともに気泡の形状が球状から円柱状へと移行することと、これら形状の違いによる解析値の差から説明することができた。

水平管内蒸気流中への注水時に生ずる流動振動
(振動様式の分類と振動発生限界)

**Flow Oscillations Induced by Injection of
Subcooled Water into Steam Flow in
Horizontal Pipe (Classification of Phenomena
and Threshold of Oscillation Occurrence)**

綾 威雄, 成合 英樹

昭和60年1月

日本機械学会論文集51巻461号 B 編

加圧水型原子炉の冷却材喪失事故において緊急炉心冷却水 (ECC 水) がコールド・レグ部より注入される際、注入水の流動振動が発生する。この振動現象に関してこれまで十分には明らかにされていなかった幾つかの事柄について、実験および解析を通して明らかにするため、ECC 水注入を模擬した小型の装置を用いて実験を行った。実験結果から、水平管内の蒸気流中へ冷水を注入した際の流動振動現象は、水平管内を流れる平均蒸気流束の低い方から順に、ウォーターハンマの伴う水プラグ振動と伴わない水プラグ振動、安定界面および界面逸走の4様式に分類できる。それぞれの振動様式の発生範囲を、蒸気流束、注入流束と注水温度からなる3次元様式図の各断面図で示した。種々の実験パラメータが振動様式や圧力振巾・周期に及ぼす影響として特記すべきものは、注入部下流側の流動抵抗の増加が振動発生限界 (水プラグ振動と安定界面の境界) を低蒸気流束側へ移行させることと、上流側蒸気空間の容積の減少が圧力振巾を大きくし周期を短くさせるということが挙げられる。

また、振動発生限界について線形安定論を用いて静的および動的安定解析を行い、実験データとの比較から以下の結果を得た。

(1) 水プラグ振動は、注水部下流の水平界面が動的に不安定となる場合に発生し、その発生限界における蒸気流束は下流の流動抵抗が小さいほど、また、水平界面の熱伝達率が大きいほど増大する。

(2) 下流の流動抵抗が小さい場合に見られる振動限界のヒステリシス現象は、静的安定領域内に存在し、 h によって支配される。すなわち、高い振動限界は振動状態の h である大きな値に、低い振動限界は安定状態の小さな h の値に対応する。

(3) 下流の流動抵抗値がある限界を越えるとヒステリシスは現れなくなり、振動限界は静的安定領域の下限に一致するようになる。

**Analysis of a 14-MeV Neutron Streaming
Through a Narrow Hole Duct Using the Monte
Carlo Coupling Technique**

モンテカルロ分割結合計算法を用いた
14MeV 中性子の細管円筒ダクトストリーミング解析

植木 紘太郎, 小川 雄一, 内藤 裕一
兵藤 和典

昭和60年1月

American Nuclear Society
Fusion Technology Vol.7 No.1

本研究は名古屋プラズマ研究所で計画中の R-計画において、プラズマ診断用の細管円筒ダクトを貫ぬく 14MeV 中性子のストリーミング問題を、モンテカルロ分割結合計算法で解析したものである。

プラズマ計測室において、円筒ダクトからの中性子ストリーミング効果を詳細に検討するために、このダクトの中心軸上ばかりでなく、中心軸に対し水平方向の中性子線量率分布も広範囲に渡って求めた。ダクトの中心軸上における中性子線量率分布は相対的にゆるやかな変化であったが、水平方向の線量率分布は非常に急激な変化を示した。例えば、水平方向に僅か 5 cm 変化することによって、中性子線量率がおよそ 1 桁も変わる所もあった。一次元ディスクリット・オーディネイトコード ANISN の計算結果と比較し、モンテカルロ分割結合計算結果はプラズマ計測室の広い範囲で明らかな中性子ストリーミング効果を示した。

モンテカルロ計算は全て MORSE-CG コードによるものである。

モンテカルロ分割結合計算法による誤差伝播が ORION コードによって評価された。ORION コードは本研究を通して作成されたものである。細管円筒ダクトの中心軸上における中性子線量率に対する FSD (fractional standard deviation) は、誤差伝播を考慮しても 0.06、即ち 6% 以内であった。しかし、水平方向の線量率に対する FSD は水平方向に 15cm 以上離れると $0.25 \leq \text{FSD} \leq 0.47$ になったが、それでも 0.5 以下である。したがって、本研究の対象とした中性子ストリーミングを含む大型遮蔽体系の中性子束分布計算に対し、モンテカルロ分割計算法が有効であることが実証できた。

水平管内蒸気流中への冷水注入に伴う
ウォーターハンマ

Waterhammer Induced by Injection of Subcooled Water into Steam Flow in Horizontal Pipe

綾 威雄, 伊藤 智徳, 成合 英樹

昭和60年3月

日本原子力学会「昭和60年年会」

水平管内を流れる蒸気流中へ冷水（サブクール水）を注入すると、条件により蒸気凝縮に起因する流動変動が生じる。中でも、平均蒸気流速の小さい時に生じ易いウォーターハンマは、非常に高いピーク圧力（筆者らの大気圧実験では最大14MPaで、システム圧7MPaのTihange炉では41MPa）を伴うことから、機器の安全上できるだけ生じないようにすることが望まれる。

透明な装置による観察から、ウォーターハンマは、注水部上流に形成される水平界面が急激な凝縮による高速蒸気流により巻き上げられ、水スラグとなり蒸気ボイドの崩壊とともに前方の水と衝突することにより生ずる。圧力変化から推算したボイド形成時の蒸気流速は50~100m/sであり、定常流では成層流が存在しえない噴霧流域に当たるが、過渡的に水スラグが生ずる。ボイド生成場所は注水部上流（Type A）と注水部近傍（Type B）の場合があり、Type Bの方が同期性が高く、衝撃圧力も高くなる傾向にある。Type A, Bの発生域を蒸気と注入水の質量流束で示すと、その境界はかなり複雑なものとなっているが、Type Bの方がType Aより高蒸気流速側で生じることが判った。

このように、ウォーターハンマは上流側に長い水平界面ができ、それが上・下流に変動しているときに生じ易いので、逆に生じにくい条件としては以下が考えられる。

- (1) 流動振動周期を短くする
- (2) 流動変動を起りにくくする

上流側蒸気容積 V_s と流動振動周波数 f の関係は、実験データ及び線形周波数解析ともにほぼ $f \propto V_s^{-\frac{1}{3}}$ となっている。これから V_s を小さくすれば周期が短くなり、上流に水が溜りにくくなることが判る。また、下流に絞りを設けると流動変動そのものが生じにくくなることが実験により確かめられた。

〈共通工学部〉

鋼材の疲労過程における磁気特性

Magnetic Properties of Steel in Fatigue Process

吉井 徳治

昭和60年2月

日本非破壊検査協会、非破壊検査34巻2号

鋼材の疲労損傷の程度（疲労度）を非破壊で計測する手段として、組織敏感性の著しい物性の一つである磁気的性質の変化を利用した研究が行われてきた。今回は大型構造物のような実機に应用可能な測定法の可能性を調べるため、以前の研究に引き続き、低磁界での引張圧縮疲労過程における鋼材の磁気特性を測定し、塑性ひずみ挙動の関連を調べた。

試験片の材料はSM41Bでチャック部は丸棒スプリットフランジ形とした平滑試験片である。磁気特性の測定方法は試験片に2分割したソレノイドコイルにより磁界を与え、磁界測定は極小のホール素子により試験片平滑部表面の磁界を測定することにより内部磁界とした。また、磁束は試験片平滑部に直巻きしたコイルに誘起した電圧を積分器により積分し磁束とした。これらの磁界、磁束の出力をXYレコーダに記録し、そのヒステリシス曲線より磁気特性値を読み取った。これにより試験片を試験機に装着した状態での磁気特性測定が可能となった。疲労過程の塑性ひずみ幅の測定は差動トランスを用いて伸びを測定し、サンプル&ホールド回路を応用した回路により塑性ひずみ幅に変換した。

実験の結果、疲労過程初期の塑性ひずみ幅急増にともない、初透磁率、最大透磁率、最大磁界などきわだつた変化を示した。その後の塑性ひずみ幅の減少過程においては、それぞれ漸減していく傾向がある。これらの結果より、磁気特性値は塑性ひずみの挙動とよく対応した変化を示し、これらの現象を利用することにより、疲労度測定の可能性が示されたものと考えられる。

〈大阪支所〉

船体用 FRP サンドイッチ材の静的及び
疲労強度 (第 2 報)

**Bending Strength and Fatigue Property
of FRP Sandwich Structure for Hull Construction**

吹上 紀夫, 原 正一, 多賀 謙治

昭和59年11月

FRP 漁船97号

FRP 船体の軽量化或いは外板や甲板の剛性を向上させるため軽量芯材を用いたサンドイッチ化が進んでいるが、これにともなって芯材も種々のものが開発されてきた。第 2 報では、第 1 報で船体用として使用できると判断された 4 種類の芯材を用いて、芯材厚さを 10mm, 表面 FRP 材の積層構成を 3 層 (MRM) 及び 5 層 (MR MRM) の 2 種類とした, 8 種類の組合せのサンドイッチ材を検討した。芯材は(A)ネオランバー FFU, (B)バルサコアー, (D), ソフラン FU, (E)コアーマットの 4 種類である。

両端支持中央集中荷重 (3 点曲げ) で支点間距離 l を 500mm とし, 静的曲げ及び曲げ疲労試験を行った。尚, 試験材の厚さ t と l の比 l/t は 26~32 とした。

静的曲げ試験では芯材の種類による強度差は比較的少かった。

FRP 部が 3 層構成の 0 0 シリーズでは強度の平均値 $\mu_{00} = 14.4\text{kg/mm}^2$, 標準偏差 $\sigma_{00} = 1.89\text{kg/mm}^2$, 変動係数 $\eta_{00} = 13\%$ となった。また, 5 層構成の 5 シリーズでは $\mu_0 = 16.7\text{kg/mm}^2$, $\sigma_0 = 1.66\text{kg/mm}^2$, $\eta_0 = 10\%$ となった。

疲労試験に於いても芯材の種類による強度の差及びバラツキが少かった。即ち, S-N 線図の, 芯材 A, B, D, E の測定値すべてに対して最小 2 乗法で回帰直線 S を引くと, すべての測定値が $\pm\sigma$ 内に含まれる。尚, この回帰直線の式は 0 0 シリーズが $S_{00} = 17.1 - 1.59 \log N$, 0 シリーズが $S_0 = 19.3 - 1.87 \log N$ となった。

上記 2 式がそれぞれ静的曲げ強度の平均値 μ_{00} , μ_0 と交叉する点は, S_{00} が $N=50$, S_0 が $N=24$ であり, 曲げ疲労強度の低下開始点と考えられる。

使用した芯材は第 1 報での特性の良いものとして芯材 A, B, D, E を選んだが, 疲労試験に於いても充分使用に耐え, 破壊個所を指定できるサンドイッチ材の設計が可能な芯材であることがわかり, 満足する結果が得られた。

〈東海支所〉

点等方線源の鉛の K-殻近傍での再生係数と
スペクトルに関する詳細な検討

**Detailed Study of the Buildup Factors and Spectra
at the Vicinity of the K-edge in Lead for Point
Isotronic Gamma-Ray Sources**

竹内 清, 田中 俊一

昭和59年 3 月

日本原子力学会

鉛, ビスマス, タングステン, ウランなどの重い物質では低いエネルギーのガンマ線透過の際, K-殻による巨大な吸収断面積によるガンマ線の吸収後そのほとんどのエネルギーは K-X 線で再び物質中へ放出される。これまでこの現象の定量的な解析がなされていなかったため, 今回鉛に焦点を絞って K-殻近傍のエネルギーを持つガンマ線が鉛に入射した場合について一次元形状用の PALLAS-ID (V II) コードで解析計算を行った。ガンマ線源は点等方線源であり, 線源エネルギーは $0.09\text{MeV} \sim 0.3\text{MeV}$ である。

解析した結果は鉛の無限媒質中でのエネルギースペクトル及び照射再生係数の形にまとめられ, 在来のように K-X 線を見捨てたケースも計算し, K-X 線を考慮に入れた場合との比較により次のようなことがわかった。

- (1) 再生係数は K-殻のエネルギーに近づくにつれて透過距離と共に急速に増大する。
- (2) 再生係数の増加は 0.11MeV と 0.13MeV 近傍で不連続的な変化を示す。
- (3) K-X 線の影響はほぼ 10mfp 程度まで急速に大きくなり, 最大で 2 桁以上の再生係数の増大をもたらす。しかし, その後は透過距離と共に徐々に減少する。
- (4) 光電吸収に伴う K-X 線の生成とコンプトン散乱による後方散乱ピークのエネルギーが複雑に関係して, 極めて特異的なエネルギースペクトルが形成される。
- (5) K-殻に近いエネルギーの線源の場合, K-X 線源の影響により薄い鉛遮蔽は遮蔽効果がないことが分り, 低エネルギーガンマ線の遮蔽計算における K-X 線の重要性が示された。

船用炉の定傾斜時炉心ボイドの流動様式

Steam Void Flow Pattern in a Model Ship Reactor Core at inclined Condition

伊従 功, 村田 裕幸, 綾 威雄
小林 道幸, 成合 英樹, 近藤 正和

昭和59年10月

日本原子力学会昭和59年分科会予稿集

原子力商船の国際安全基準がIMOにおいて採択されたことによって、将来の原子力商船に対しては海難時の安全基準をなお一層整備する必要が生じてきた。本報は、こうした状況を背景として実施してきた小リーク時自然循環特性実験のうち、海難定傾斜条件下で蒸気放出を行う場合の炉心内ボイドの流動様式について調べた結果を報告したものである。

一次系から蒸気の放出を行う条件下では、炉心内に蒸気ボイドが発生するが、このボイドが炉心内でどのように流動するか、また、このときに炉心冷却はどの程度維持されるか、等についての報告は、空気ボイドで模擬したものしか見当たらない。

本研究は、二次元の模擬炉心（ヒータ加熱）とこれを取巻くヘリカル・コイル型熱交換器（実炉では蒸気発生器）とからなるループを用いて、まず上述の2点を調べたものである。二次元模擬炉心の前面と背面は耐熱強化ガラスで可視、ヒーター有効長は1500mm、ヒーター・ピン径10.5mm、配列は24本（間口）×5本（奥行）=120本（うち6本はタイ・ロッド）、スパーサーは板バネ型で4段である。実験条件は熱交換器の二次側流量ゼロ、一次系大気開放とし、流動様式の観察。撮影は炉心水位がホット・レグより下方に下がり、かつ、炉心入口温度が一定値に達した時点で行った。

傾斜角と崩壊熱出力（ヒータ出力）とをパラメータとして実験を行い、次の結果を得た。

- (1) 正立時の炉心内ボイドの流動様式は崩壊熱出力が炉の定格出力の3%相当に達するとプリューム型から不定形型（ミクシング型）に変わる。
- (2) 傾斜時には、低出力のとき上側側壁に沿う安定したプリューム型が現れるが、崩壊熱出力を炉定格出力の6%相当にまで上げると、やはり不定形に変わるが炉心循環流の成分も依然残っている。
- (3) 傾斜角45°、崩壊熱出力が炉定格出力の6%相当の範囲では炉心水位がヒーター・ピン上端より上部にあれば、炉心のドライ・アウトは生じない。

(306)

PALLAS-ID(VII) : A Code for Direct Integration of Transport Equation in One-Dimensional Plane and Spherical Geometries

PALLAS-ID (VII) : 1次元平板および球形状における輸送方程式の直接積分コード

竹内 清, 田中 俊一

昭和59年12月

日本原子力研究所報告 JAERI-M 84巻214号

1次元平板および球形状遮蔽体に対して定常状態の中性子の輸送計算を行うために、1973年に定常の積分型輸送方程式を直接積分法で解く計算コード PALLAS-PL, SP を開発した。この計算コードは放射線が中性子のみに限られていたために、その後ガンマ線の遮蔽計算も取り扱えるように改良した。

さらに、原研との共同研究により高エネルギーガンマ線が遮蔽体透過中に二次的に発生する制動放射線も遮蔽計算できるように、一次ガンマ線の物質透過の際に一次ガンマ線から発生する電子線源を計算するルーチンおよびこの電子の運動によって発生する制動放射線の線源を計算するルーチンも上記の計算コードに付加した。この計算コードが PALLAS-PL, SP-Br コードである。

放射線遮蔽設計計算には中性子が遮蔽体中を透過する際に二次的に発生する二次ガンマ線も取り扱えるようにすることが不可欠である。そのために一層の改良を行い、二次ガンマ線の発生から輸送計算までを一貫して計算できるようにした。また一般の遮蔽設計者の使用に供する目的で計算コードの整備および各種の遮蔽問題に対する入力データの簡便化を図った。さらに、計算後に出力される各種の遮蔽設計用の応答データを得るのに、在来の計算コードも含めてこれまでは使用者が各種の反応データや線量率変換係数を用意し、コードの形式に従って入力しなければならなかった点を改善して、これらの各種の反応断面積および線量率変換係数を本コードに組み込んだ。このように遮蔽設計者および遮蔽研究者の便を図った本コードを PALLAS-ID (V II) と名付けて、1次元遮蔽解析のための汎用コードとして完成させた。

Experiment on Transient Heat Transfer in Closed Narrow Channel

狭巾密閉流路内での過渡熱伝達実験

落合 政昭

昭和60年1月

J of Nuclear Science and Technology Vol.22 No.1

浸水燃料内圧挙動解析コード WTRLGD の燃料ギャップ部での熱伝達率計算モデルの検証を目的として狭巾密閉流路内での熱伝達実験を実施した。本流路は長さ110mm, 横巾10mm であって, 高さを0.1, 0.3, 0.5mm の3種類のステンレス鋼製矩型流路であって, その一面(110×10mm)はプリント配線基板により製作した伝熱体となっている。

実験は次の手順にて行う。まず密閉流路内に供試流体を充満させ, 次に伝熱体に直流通電して加熱する。その際, 流路内の圧力と伝熱体の電気抵抗とを測定する。電気抵抗の変化から熱流束及び伝熱体の温度を知ることができ, 熱伝達率を求めることができる。供試流体は7~89.2°Cの水と9.2°Cのフロン-113である。

実験の結果以下のことが明らかになった。

○ DNB が発生しなかったケースでは, 実験で得られた伝熱体温度及び流路内圧は計算コード WTRLGD の計算結果にて良く模擬できることを確認した。このコードでは, ギャップ部熱伝達率を一次元熱伝導式と Jen & Lottes の核沸騰熱伝達率式によって評価しているが, この結果によりこれらの評価式は, 狭巾密閉流路に於ても十分使用できることが分った。

膜沸騰熱伝達率と DNB 熱流束に関しては十分な実験データは得られなかったが, 前者は Bromley の関係式によって評価される値とほぼ同程度であり, 後者は, Kutateladze の関係式よりやや低くなることを確認した。

なお, 実際の燃料棒のギャップ巾と同程度な場合(0.1mm)には, 熱伝導による熱流束が核沸騰による熱流束より大きくなることも示した。

PALLAS-2DCY-FX : A Code for Direct Integration of Transport Equation in Two-Dimensional (R, Z) Geometry

PALLAS-2DCY-FX : 2次元 (R, Z) 形状における輸送方程式の直接積分コード

竹内 清, 笹本 宣雄, 金井 康二

昭和60年2月

日本原子力研究所報告 JAERI-M 84巻244号

2次元 (R, Z) 形状遮蔽体に対して定常状態の中性子輸送計算を行う目的で1973年に定常の積分型輸送方程式を直接積分法で解く計算コード PALLAS-2DCY を開発した。この計算コードは速中中性子のみの遮蔽計算用であったために, その後改良を加えて熱中性子も取り扱えるようにした。また, ガンマ線の遮蔽計算も出来るように発展させ, その上に2次元形状計算で最大の計算誤差発生の原因となるレイ・エフェクトを除去するために, 非散乱線の点減衰核法による解析計算ルーチンも付加した。この計算コードを1979年に PALLAS-2DCY-FC として完成させた。

直接積分法は線源のエネルギーを連続であると仮定することによって, エネルギー群内の散乱計算の繰り返し収束法の適用の不都合さを避けている。しかし, この仮定は単一エネルギー放射線の散乱計算を困難にするので, ガンマ線の単一エネルギー線源問題は特別のルーチンで計算するようにした。同じ問題は中性子の場合も起る。すなわち, 核融合炉では14MeVの単一エネルギーが線源となる。そこで原研との共同研究で中性子単一エネルギー問題を処理する計算ルーチンを開発し PALLAS コードに付加した。また, 中性子の物質透過の際に中性子の反応で発生する二次ガンマ線の遮蔽計算もできるように改良発展させた。

さらに, 計算機の大型化に伴って, これまで空間メッシュが(55×55)と厳しい制限があり実際の遮蔽設計計算には大きな障害であった点を改善し, (75×75)メッシュまで選べるように拡大した。同時にエネルギーメッシュも50メッシュから100メッシュに, 取り扱える核種の制限も16核種から25核種へと拡大させた。その上に一般の遮蔽設計者の使用の便を図って入力データの簡便化や取り扱える遮蔽問題の種類を増加させて計算コードの汎用性をもたせ PALLAS-20DCY-FX として完成させた。

再処理施設に関するガンマ線遮蔽設計計算, (I)概要

Gamma-Ray Shielding Design Calculation for Reprocessing Facility, (I) Outline

竹内 清

昭和60年3月

日本原子力学会年会

大型再処理工場の建設にあたり、再処理施設の放射線遮蔽設計の重要性が増している。今回、シリーズ発表を行うのは、再処理施設の遮蔽設計計算法の評価を実施したのでその結果を公表するためである。再処理工場は、使用済燃料をキャスクで運搬して来た時、まずこれを受け入れて貯蔵する水プール施設があり、次いで使用済燃料を取り出し剪断し溶解する工程がある。溶解された使用済燃料は核分裂生成物除去工程を通り、電解抽出工程に入り、最後にウランおよびプルトニウム精製工程に入る。このうち、剪断・溶解、核分裂生成物除去、電解抽出工程は最も放射能が強いので遠隔処理施設と呼ばれる。今回はこの遠隔処理施設を取り上げて、ガンマ線遮蔽設計計算を行い、使用した計算コードの精度評価を実施した。中性子についてはコンクリート施設壁外表面でガンマ線の線量に較べてかなり小さいので今回の計算には取り上げなかった。

遮蔽問題は大きく分けて施設壁コンクリートのバルク遮蔽とコンクリート壁貫通の各種のダクトや間隙を漏減するストリーミング問題とに分けた。各種のダクトとしては直筒ダクトおよび屈曲ダクト問題を取り上げ、間隙問題としては直スリットおよび屈曲スリット問題を取り上げた。バルク遮蔽問題は実験値がないので例として取り上げた米国バーンウェル再処理施設の計算値との比較を行い、一方各種のダクトおよび間隙問題は実験結果があるので実験値との比較により精度検証を行った。

使用した計算コードは点減衰核コードが SPAN, QAD, B439コード、一回散乱計算コードが G-33, SCAP, GRASS コード、アルベドコードが BACKS, DUCT79コード、モンテカルロコードが MORSE コード、直接積分コードの PALLAS-2DCY-FC コードである。

結果は全体としてはファクター2程度以内の計算誤差であることがわかったが、詳細に検討すると今度の研究課題になるケースが幾つか残された。

(308)

再処理施設に関するガンマ線遮蔽設計計算, (III) ストリーミング計算, (1)直ダクト

Gamma-Ray Shielding Design Calculation for Reprocessing Facility, (III) Streaming Calculation, (1) Straight Duct

山路 昭雄, 谷本 亮二, 仁熊 義則

昭和60年3月

日本原子力学会昭和60年日本原子力学会年会

再処理施設のセル壁を貫通している直ダクトに類似した体系の実験を一回散乱コード G-33と SCAP で解析し、計算値の精度評価を行った。実験は JRR-4 散乱実験孔からの γ 線をコンクリート壁中に設けた直ダクトに入射させ、 γ 線のダクト入射角度を 0° , 15° , 30° と変えている。コンクリート壁の厚さは 75cm と 150cm の2種類で、炉心中心からダクト入口までの距離は 727cm である。計算モデルは点等方線源近似と面等方線源近似の2種類とした。面等方線源近似は 0° 実験でダクト出口面の中心点からは実験孔入口面の一部のみを直視する体系の G-33計算に適用し、それ以外の体系における G-33計算と全ての SCAP 計算には点等方線近似を用いた。一回散乱領域は G-33計算の場合ダクト中心軸を中心とする円筒とし、SCAP 計算では線源からの γ 線の放出角度幅によって定めた。ダクト出口における一回散乱コードの計算値は、入射角度 0° では実験値と 15% 以内の精度で一致した。入射角度が 0° 以外では、ダクト長さ 75cm の計算値は実験値と約 30% 以内の精度で一致したが、ダクト長さ 150cm での計算値は実験値の $\frac{1}{2}$ 程度と低い値を示した。入射角度が 0° 以外でダクト長さ 150cm の計算値が低目であることから、実験値にはダクト壁およびその近傍で2回散乱した γ 線の効果が現われていると言える。コンクリート壁背面でダクト出口以外の点における計算値と実験値との比較では、入射角度が 0° と 15° で計算値は実験値と良い一致を示した。入射角度 30° の実験値は計算における散乱線のみとの値と直接線と散乱線を合せた値の間にある。計算では線源を点状としたことおよび実験孔の形状を省いていることから、入射角度 30° では散乱線のみとの値あるいは直接線と散乱線を合せた値のみで計算値を評価することは妥当でなく、両者を下限値および上限値とすべきであろう。実験値はこの上限・下限値の間にあり、計算値は妥当な値を示していると言える。

2次元 PALLAS コードによる中性子
ガンマ線スカイシャイン実験の解析

**Analyses of Neutron and Gamma-Ray Skyshine
Experiments by Two-Dimensional PALLAS Code**

竹内 清, 笹本 宣雄

昭和60年3月

日本原子力学会年会

各種の原子力施設から大気中に放出された中性子およびガンマ線が大気により散乱されて、再び地上にふりそそぐスカイシャイン現象を正確に評価することは、施設内外の環境における放射線レベルの規制の強化とともに、ますます重要な課題となっている。そこで2次元形状用 PALLAS-2DCY-FX コードによる、空気-地面体系における中性子及びガンマ線のスカイシャイン計算を実施し、同コードによる計算の精度評価を行った。計算は3つの実験を解析した。すなわち、(1)東大の弥生炉からの核分裂中性子のスカイシャイン実験、(2)阪大のオクタビウム装置からの14MeV 中性子のスカイシャイン実験、(3)カンサス大で実施した⁶⁰Co ガンマ線のスカイシャイン実験についてである。

計算結果は全て実験結果と比較されて精度評価が行われた。すなわち

(1)東大弥生炉からのスカイシャインについては、実測されている1,000m までスカイシャイン線量は実験値の誤差の範囲内で一致した。この問題は弥生炉の真上を細くコメリットして中性子をビーム状に大気中へほぼ垂直に放出している。これに対し PALLAS 計算の第1回目は弥生炉を含む建屋とその周辺を形状に入れて計算したが、第2回目のスカイシャイン保量評価計算の際には第1回目の計算による角度束をビームラインから十分離れた位置でとり、この角度束を第2回目の計算の境界角度束として使用することが精度のよい計算結果を与えることがわかった。

(2)および(3)の実験の解析計算の結果はスカイシャイン線量率の空間分布についてファクター2次内で実測値を再現できることが明らかにされた。

直接積分輸送計算コード PALLAS の概要

**PALLAS Code for Direct Integration
of Transport Equation**

竹内 清

昭和60年3月

原子力工業31巻3号

PALLAS コードは放射線の輸送方程式を解くために新たに提案した直接積分法にもとづいて遮蔽設計および解析のための計算用に我国独自に開発された遮蔽計算コードシステムである。直接積分法は米国で開発された Sn コードがボルツマン輸送方程式を差分近似で解く Sn 法と異なって、積分型輸送方程式から出発し、放射線の進行方向にその飛程に沿って方程式を積分して解く解法である。本解法は当研究所で1960年から研究に着手した幾多の試行錯誤を繰り返した末によろやく1971年にその基礎理論が完成した。この理論にもとづいて、1次元形状用遮蔽計算コード PALLAS-PL, SP が開発され、またほとんど同時に2次元 (R, Z) 形状遮蔽計算コード PALLAS-2DCY も開発された。

これらのコードが実際の原子炉遮蔽の解析計算に適用されたのが、不幸にして起った原子力船「むつ」の放射線漏洩の時(昭和49年9月)に、その原因を調査するためであった。この事件を契機に我国の遮蔽設計計算は急速に在来の点減衰核コードから輸送方程式の解法にもとづくコードに発展した。PALLAS コードも各種の遮蔽体貫通孔を漏洩する放射線を精度良く計算できるように種類の改良が施され、このうちで特記すべきは計算の大きな誤差の原因を除去するために導入された非散乱線束の解析計算法である。この手法の導入は漏洩放射線束のみでなく大きな空間、例えば放射線のスカイシャイン線量評価にも極めて有効である。PALLAS-PL, SP コードは制動輻線の遮蔽体透過計算も出来るように PALLAS-PL, SP-Br コードへ発展し、PALLAS-2DCY コードは PALLAS-2DCY-FC コードへ発展した。さらに、2次元 (R, θ) 形状計算用に PALLAS-RT コードが作成され、3次元 (X, Y, Z) 形状計算用には PALLAS-XYZ コードが、また3次元 (R, θ , Z) 形状計算用には PALLAS-RTZ コードが作成されている。